

УДК 621.396

Н.А.ПИДРУЧНАЯ, магистр, НТУ “ХПИ”, Харьков

В.А. ПУЛЯЕВ, д-р техн. наук, проф., зам. директора, Институт
ионосферы, Харьков

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРА ЗОНДИРУЮЩЕГО ИМПУЛЬСА НА СПЕКТР СИГНАЛА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ

Аналізується вплив спектру зондувального імпульсу на спектр сигналу некогерентного розсіяння, який визиває його розширення.

Анализируется влияние спектра зондирующего импульса на спектр сигнала некогерентного рассеяния, которое вызывает его расширение.

The influence of the sound pulse spectrum on the signal spectrum of incoherent scattering, which causes its expansion, is analyzed.

Введение. Метод некогерентного рассеяния (НР) охватывает широкий набор подходов и процедур, которым отводится важная роль статистического анализа радиолокационных данных. С их помощью производится расчет ионосферных параметров, определяемых локальными свойствами распределенной в пространстве ионосферной плазмы, непрерывно изменяющейся в зависимости от состояния околоземного космического пространства. Для обеспечения максимальной степени достоверности этих процедур необходимо, чтобы в них в полной мере учитывались особенности режимов зондирования ионосферы.

Цель работы – анализ степени влияния при импульсном режиме излучения радара НР спектра зондирующего сигнала на спектр сигнала рассеяния.

Анализ литературы. В методе НР ионосферная информация может быть получена как при корреляционном анализе, так и при анализе спектров. В работе [1] акцентируется, что при переходе к изучению спектра, особенно если речь идет о каких-то незначительных изменениях его формы, приходится исследовать сигнал, который заключен в очень узком частотном интервале. Для получения характеристик такого сигнала необходимо длительное накопление и статистическое усреднение данных. Но когда работа ведется в импульсном режиме, оценка спектра рассеянного сигнала с высокой точностью может быть выполнена только в том случае, когда зондирующий импульс сам имеет достаточную длину, а значит – искажения спектра, вносимые концами импульса, незначительны. Этот недостаток отсутствует в бистатистических системах, у которых из-за разнесенных на некоторое расстояние передающей и приемной антенн имеется возможность излучать сигнал непрерывно.

В моностатической радарной системе, какой является харьковский радар

НР, точность расчета параметров зависит от вида зондирующего сигнала. А так как высотно-временные характеристики рассеяния зависят от режима излучения, то в [2] для конкретного типа зондирующего сигнала заданы условия выбора его параметров. Но при этом не рассмотрена ситуация, насколько спектр сигнала НР получает изменения из-за влияния на него спектральных характеристик зондирующего импульса, и какие погрешности в процессе последующего расчета параметров ионосферы в результате этого возникают.

В работе [3] выведены общие условия, согласно которым, чтобы извлечь большую часть информации, содержащейся во флуктуационном спектре $S(f)$, ширина спектра импульса не должна превосходить $1/5$ части спектрального уширения среды. Дополнительно, в [4] уточняется, что для получения достаточного высотного разрешения помимо неискаженных измерений спектра флуктуаций электронной плотности (в случае, когда импульс больше временного интервала τ_c ее корреляции) зондирующий сигнал должен способствовать правильному отображению высотных изменений плотности электронов (быть короче диапазона Δh , на котором можно считать линейным закон изменения мощности сигнала рассеяния), т.е. в то же время иметь небольшую длительность.

Так как эти противоречивые требования заслуживают пристального внимания, то необходимо провести анализ статистических характеристик этих сигналов для случая импульсного зондирования ионосферы. В статье рассматриваются диапазоны изменений спектра, полученных при моделировании процедуры свертки спектра сигнала рассеяния, поступающего с разных высотных уровней, со спектром зондирующего импульса прямоугольной формы, излучаемого с периодом следования 25 Гц и имеющего длину огибающей $T_{\text{и}} = 660$ мкс, который используется харьковским радаром НР в одном из режимов его работы.

Моделирование. В [5] приведен пример расчета высотного распределения корреляционных и спектральных функций, учитывающих ионный состав ионосферы и предназначенных для целей моделирования. Используя приведенные методики, для дальнейших исследований были выбраны высотные участки дневной ионосферы с центрами на 250, 400, 800 и 1500 км, модельные параметры среды для которых приведены в таблице. Затем с помощью вычислений (прямая задача теории рассеяния) были рассчитаны аналитические спектры сигнала НР, которые приведены на рис. 2 (сплошные линии).

На рис. 1 приведен модуль спектра зондирующего импульса, рассчитанного при значениях его параметров, указанных выше по тексту. На основе этих исходных данных была реализована свертка спектра сигнала НР со спектром излучаемого импульса. Результаты этой операции приведены на рис. 2а-г (штриховые линии).

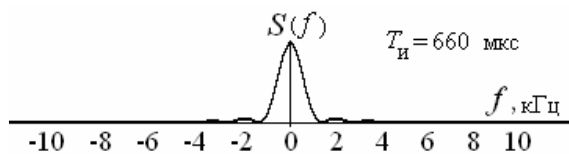


Рис. 1 – Модуль спектра зондирующего импульса

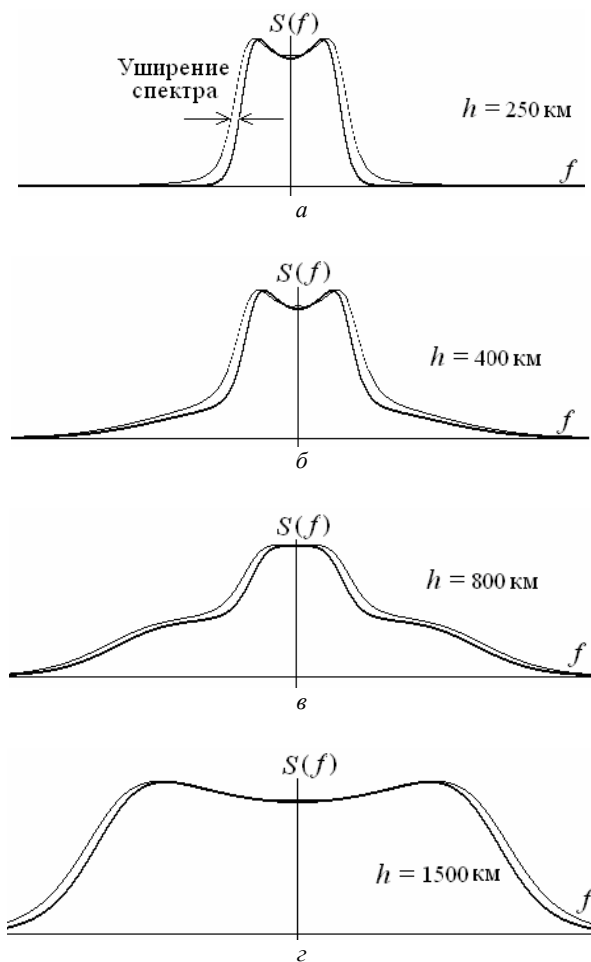


Рис. 2 – Свертки спектра сигнала НР со спектром излучаемого импульса

Результат анализа оказался следующим.

Как можно видеть, степень относительного влияния спектра зондирующего импульса уменьшается с ростом высоты h , потому что из-за увеличивающейся в составе ионосферной плазмы концентрации легких ионов собственная ширина спектра сигнала рассеяния увеличивается. Численные расчеты для выборочных значений параметров, которые могут иметь место на некоторых высотах, при таком режиме работы харьковского радара НР приведены в таблице. Здесь же для сравнения даны результаты расчетов при длительности импульса $T_{\text{и}} = 800$ мкс, который использовался на этом радаре несколько лет назад.

Таблица – Численные расчеты для выборочных значений параметров

Длительность импульса $T_{\text{и}}$, мкс	$h = 250$ км $T_i = 1000$ К $T_e = 1000$ К $N^+ = 0$ %	$h = 400$ км $T_i = 1000$ К $T_e = 1500$ К $N^+ = 20$ %	$h = 800$ км $T_i = 1500$ К $T_e = 2000$ К $N^+ = 50$ %	$h = 1500$ км $T_i = 3000$ К $T_e = 3000$ К $N^+ = 100$ %
	Уширение спектра, %			
660	18	15	10	4
800	13	11	6	3

Выводы. В статье показан результат моделирования степени влияния длительности зондирующего импульса на статистические характеристики сигнала рассеяния с целью определения характера изменения его спектра. Выяснено, что по отношению к аппаратуре харьковского радара НР влияние зондирующего импульса на сигнал рассеяния при существующем режиме излучения заключается в уширении его спектра до значений в 18 %. С ростом высоты степень искажения спектра сигнала НР уменьшается до 4 %. Применение же зондирующего импульса, имеющего длительность на 20 % большую, приведет к уменьшению погрешности искажения спектра почти в полтора раза.

Список литературы: 1. Брюнелли Б.Е. Метод некогерентного рассеяния радиоволн / Б.Е. Брюнелли, М.И. Кочкин, И.Н. Пресняков и др. – Л.: Наука, 1979. – 188 с. 2. Рогожкин Е.В. Зондирующие сигналы для исследования ионосферы методом НР: монография / Е.В. Рогожкин, В.А. Пуляев, В.Н. Лысенко. – Х.: НТУ “ХПИ”, 2008. – 256 с. 3. Эванс Дж.В. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом НР радиоволн // ТИИЭР. – 1976. – Т. 57, № 4. – С. 139 – 175. 4. Рогожкин Е.В., Мазманишвили А.С. Анализ зондирующих сигналов для исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния // Электромагнитные явления. – 1998. – Т. 1, № 4. – С. 545 – 551. 5. Пуляев В.А. Определение параметров ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн: монография / В.А. Пуляев, Д.А. Дзюбанов, И.Ф. Домнин. – Х.: НТУ “ХПИ”, 2011. – 240 с.

Поступила в редколлегию 20.09.2012